Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 2, June. July. 2021, p. 339- 351

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۲، خرداد-تیر ۱۴۰۰ ص.۳۵۱-۳۳۹

مقاله پژوهشی

کاربرد منطق فازی و سیستم استنتاج تطبیقی عصبی- فازی جهت پیش‌بینی تغییرات فیزیکی و شیمیایی و طبقه‌بندی کیفی لیموشیرین پوشش‌دار طی مدت نگه‌داری

محسن زندی*[۱]- علی گنجلو [۲]- ماندانا بی‌مکر[۲]- نرگس نیکومنش[۳] - نگار مرادی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۲۳

چکیده

در پژوهش حاضر با بهره‌گیری از منطق فازی و با کمک روش حداکثری- حداقلی ممدانی و یکی از توابع عضویت مثلثی، گوسی و ذوزنقه‌ای برای طبقه‌بندی کیفی لیموشیرین پوشش‌دهی‌شده با بهره‌گیری از دو الگوریتم، یکی با پنج ورودی (سفتی بافت، مواد جامد محلول، درصد رنگ سبز، حجم و رنگ پوست) و دیگری با سه ورودی حاصل از تصویر (درصد رنگ سبز، حجم و رنگ پوست) استفاده گردید. برای پیش‌بینی خصوصیات کیفی (سفتی و شاخص رسیدگی) نیز از سیستم ممدانی و تــوابع عضــویت مطلوب مثلثی، ذوزنقه‌ای، زنگوله‌ای و گوسی با کمک سه ورودی (یعنی زمان نگهداری، زاویه رنگ و حجم) استفاده شد. نتایج نشان داد که میانگین دقت الگوریتم طبقه‌بندی برای توابع عضویت گوسی، مثلثی و ذوزنقه‌ای به‌ترتیب ۰/۹۷۵، ۰/۹۳۱ و ۰/۹۶۰ بود. نکته مهم دیگر این که مدل بر مبنای شاخص‌های استخراجی از تصویر نیز عملکرد بسیار خوبی داشت (صحت بالاتر از ۰/۹۶۶). مشخص شد که بهترین پیش‌بینی برای شاخص رسیدگی و سفتی بافت به‌ترتیب با مدل منطق فازی با توابع عضویت مثلثی (ضریب تبیین برابر ۰/۹۹۹۶) و گوسی (ضریب تبیین برابر ۰/۹۹۹۲) قابل دستیابی است. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل میزان حساسیت نشان داد که زمان نگهداری بیشترین تاثیر را هم بر شاخص رسیدگی و هم بر سفتی سطحی لیمو شیرین دارد. در نهایت می‌توان گفت که سیستم استنتاج عصبی- فازی عملکرد قابل قبولی در طبقه‌بندی کیفی و پیش‌بینی خصوصیات فیزیکی‌وشیمیایی لیموشیرین برخوردار است و با توجه به استفاده از خصیصه‌های استخراجی از تصاویر، به‌عنوان روش غیرمخرب در سردخانه‌ها قابل استفاده است.

واژه‌های کلیدی: منطق فازی، لیمو شیرین، سیستم ممدانی، سیستم استنتاج عصبی–فازی، طبقه‌بندی.

مقدمه

منطق فازی و سیستم استنتاج فازی تکنیک‌های جدید و کارآمدی هستند که در سال‌های اخیر برای شناسایی، طبقه‌بندی و مدل‌سازی سیستم‌های غیرخطی پیچیده استفاده می‌شوند (LigusPeternek, 2018; Sakthivel *et al.*, 2018). این منطق که نخستین بار توسط Zadeh در سال ۱۹۶۵ مطرح گردید (Zadeh, 1965)، می‌تواند برای پیش‌بینی خصوصیات خاص با قواعد دقیق و به‌منظور توصیف صحیح سیستم‌های پیچیده و غیرخطی استفاده شود. به‌طور کلی، خصوصیات کیفی و فیزیکی و شیمیایی مواد غذایی به‌عنوان سیستم‌های پیچیده غیرخطی در نظر گرفته می‌شوند. در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های یادگیری هوشمند به‌طور گسترده، به منظور ارزیابی کیفی مواد غذایی مورد توجه قرار گرفته است. سیستم استنتاج تطبیقی عصبی- فازی (انفیس (ANFIS))[۴] یک شبکه تغذیه‌ای چند لایه است که از الگوریتم‌های یادگیری شبکه عصبی و سیستم‌های استنتاج فازی برای مدل‌سازی روابط ورودی و خروجی استفاده می‌کند (Abbaspour-Gilandeh *et al.*, 2020; Al-Mahasneh *et al.*, 2016). امروزه از شاخص‌های بصری جهت تعیین روند رسیدگی، تغییرات کیفی طی نگهداری و به‌ویژه طبقه‌بندی میوه‌ها استفاده می‌نمایند (Fashi *et al.*, 2019; Rad *et al.*, 2018) که این کار به‌طور عمده با کمک سامانه ماشین بینایی و با استفاده از الگوریتم‌های ساده در حیطه منطق یا جبر بولی[۵] صورت می‌پذیرد که با تغییر اندک در شرایط دچار خطا می‌شود؛ این درحالی است که منطق فازی یک روش مدل‌سازی جامع و کارآمد است. در تئوری منطق فازی یک موضوع می‌تواند متعلق به یک یا چند مجموعه فازی با درجه‌بندی عضویت باشد. میزان عضویت توسط کارکردهای عضویت فازی تعریف شده است. توابع عضویت رایج شامل توابع مثلثی، ذوزنقه‌ای، گاوسی و سیگموئید می‌باشند. این توابع عضویت به‌گونه‌ای انتخاب می‌شوند که نگاشت درستی بین فضای ورودی و خروجی حاصل شود. قوانین زبانی یا اصطلاحات رابطه‌ای برای بیان

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب استادیار، دانشیار و دانشجوی کارشناسی، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
(* - نویسنده مسئول: Email: Zandi@znu.ac.ir)

DOI: 10.22067/ifstrj.v17i2.87270

4 Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)
5 Boolean algebra

رابطه ورودی – خروجی مورد استفاده قرار می‌گیرد، که مسئله مهمی در مدل‌سازی با منطق فازی است. فرایند استنتاج فازی شامل سه مفهوم مهم توابع عضویت، عملیات مجموعه فازی و قوانین استنتاج است؛ این سیستم تطبیق غیرخطی بین یک یا چند متغیر ورودی و یک متغیر خروجی را تعریف می‌کند و شامل سه مرحله فازی‌سازی، استنباط و غیرفازی کردن است که به معنای تعیین تطابق غیرخطی بین یک یا چند متغیر ورودی با یک متغیر خروجی است (Birle *et al*., 2013). سیستم انفیس ترکیبی از شبکه عصبی مصنوعی و یک سیستم استنتاج فازی است به‌گونه‌ای که شبکه‌های عصبی برای تعیین ویژگی سیستم استنتاج فازی اعمال می‌شوند. در مقایسه با سایر تکنیک‌های یادگیری، انفیس دارای سرعت آموزش بالاتر، موثرترین الگوریتم یادگیری و سادگی نرم‌افزار است؛ مزیت منحصر به فرد مدل انفیس این است که نیازی به وجود هرگونه ارتباط مشخص بین متغیرهای ورودی و خروجی قبل از استفاده از مدل ندارد و این رابطه از طریق یک فرآیند خودآموزی تعیین می‌گردد (Bahram-Parvar *et al*., 2017). انفیس عمدتاً در بسیاری از زمینه‌ها مانند شناسایی سیستم، کنترل فازی، پردازش داده‌ها و غیره مورد استفاده قرار گرفته است. منطق فازی ابزاری مهم دیگری برای تصمیم‌گیری است که اخیراً کاربردهای نسبتاً گسترده‌ای در کنترل کیفیت مواد غذایی پیدا کرده است (Birle *et al*., 2013).

به تازگی استفاده از سیستم‌های هوشمند مانند استنتاج فازی و انفیس در مطالعات غذایی به خصوص مدل‌سازی تغییرات کیفی، بصری و فیزیکی‌وشیمیایی و نیز طبقه‌بندی میوه و سبزی‌ها طی فرایندهایی مانند نگهداری، خشک کردن، جداسازی و درجه‌بندی گسترش یافته است. تحقیقات بسیاری با هدف کاربرد روش منطق فازی و انفیس برای مدل‌سازی فرایندهای مختلف و طبقه‌بندی کیفی برخی از انواع میوه و سبزی انجام پذیرفته است. از آن جمله می‌توان به طبقه‌بندی انار از نظر رنگ و اندازه (Fashi *et al*., 2019)، پیش‌بینی فرآیند خشک کردن پیاز (Jafari *et al*., 2016)، پیش‌بینی کیفیت آب (Gharibi *et al*., 2012)، پیش‌بینی سینتیک خشک کردن زرد آلو با هوای خشک (Abbaspour-Gilandeh *et al*., 2020)، پیش‌بینی سینتیک خشک کردن توت سفید (Rad *et al*., 2018)، طبقه‌بندی گوجه‌فرنگی (IrajiTosinia, 2011)، ارزیابی رسیدگی گوجه‌فرنگی (GoelSehgal, 2015)، ارزیابی حسی برای برش‌های سیب خشک‌شده با پرتودهی مادون قرمز (Sabbaghi *et al*., 2019) و درجه‌بندی کیفی سیب (Papageorgiou *et al*., 2018) اشاره کرد.

لیمو شیرین (*Citrus limetta*) نوعی از مرکبات با رنگ زرد روشن و پوست نازک است که معمولاً به‌طور گسترده در کشورهای گرمسیری آمریکا، پاکستان و هند کشت می‌شود و در ایران به دلیل شرایط آب‌وهوایی خاص، کشت این گیاه به مناطق جنوبی کشور مانند جهرم، داراب، کرمان و غیره محدود است این میوه غنی از اسکوربیک اسید است و در دنیا به سبب اثر ضدفشار خون و اثرات خنک‌کنندگی آن در بیماری زردی یا تب زیاد شناخته شده است. در ایران برای درمان آنفولانزا و سرما خوردگی استفاده فراوان دارد. تولید سالانه این محصول در ایران بین ۵۵۰ تا ۶۰۰ هزار تن می‌باشد (Askari *et al*., 2019; Barreca *et al*., 2011). با توجه به دمای هوای مناطق کشت لیموشیرین و آب فراوان این محصول باغی، سرعت تبخیر، تنفس، تعرق، واکنش‌های بیوشیمیایی و میکروبی در آن بالا است که منجر به کاهش کیفیت لیمو شیرین طی نگهداری می‌گردد. استفاده از پوشش‌دهی کی از روش‌های کاهش سرعت این تغییرات کیفی، می‌باشد. در چند دهه گذشته، پوشش‌های خوراکی حاصل از ترکیبات طبیعی به سبب توجه به سلامتی مصرف‌کننده و حفظ محیط زیست مورد توجه قرار گرفته است و به‌عنوان ابزارهایی مؤثر در افزایش زمان ماندگاری میوه به‌کار گرفته شده‌اند (Kingwascharapong *et al*., 2020). تاکنون مطالعات فراوانی با هدف بررسی تاثیر پوشش‌های خوراکی بر افزایش مدت زمان ماندگاری میوه‌ها انجام شده است (Askari *et al*., 2019; Chen *et al*., 2019; Kingwascharapong *et al*., 2020; Klangmuang and Sothornvit, 2018; MaftoonazadRamaswamy, 2019; Morsy and Rayan, 2019; Yan *et al*., 2019). در بیشتر این پژوهش‌ها از ترکیبات طبیعی برای ایجاد اثرات ضدمیکروبی و آنتی‌اکسیدانی استفاده شده است. عصاره برگ تربچه به سبب خواص آنتی‌اکسیدانی فراوان، امکان استفاده در پوشش‌ها را برای افزایش زمان ماندگاری میوه دارد (Chung *et al*., 2012; Sung *et al*., 2016)، که تاکنون پژوهشی در این زمینه انجام نشده است.

هدف از پژوهش حاضر در دو مرحله قابل بیان است؛ در گام اول بررسی اثر پوشش و شرایط نگهداری در روند تغییرات کیفی میوه‌های پوشش‌دار شده با عصاره برگ تربچه طی زمان نگه‌داری با کمک سیستم‌های هوشمند مانند استنتاج فازی و انفیس و در گام دوم امکان استفاده از خصوصیات بصری حاصل از تصاویر RGB و ویژگی‌های کیفی با کمک سیستم استنتاج فازی و انفیس جهت طبقه‌بندی کیفی لیموشیرین طی نگهداری.

مواد و روش‌ها

لیمو شیرین‌های زرد، کاملاً رسیده و یکنواخت (از نظر شکل، اندازه و رنگ) و برگ تربچه تازه از بازار محلی زنجان تهیه گردید. لیمو شیرین‌ها پس از شستشو با آب و هیپوکلریت سدیم ۰/۰۵ درصد (سیگما، آمریکا) و با کمک جریان هوا با سرعت ۰/۵ متر بر ثانیه در دمای محیط خشک شدند. برگ تربچه نیز پس از شستشو در خشک‌کن قفسه‌ای با کمک هوایی با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و سرعت ۱ متر بر ثانیه خشک گردید. آلژینات سدیم، گلسیرین و اتانول نیز از شرکت سیگما (آمریکا) تهیه گردید.

استخراج عصاره از برگ تربچه

استخراج عصاره برگ تربچه به روش حرارت‌دهی مقاومتی (Gavahian *et al.*, 2013) و با کمک محلول آب و اتانول (۵۰ درصد حجمی/ حجمی) و در شدت جریان ۳۰ ولت بر سانتی‌متر و دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه انجام پذیرفت. عصاره پس از فیلتراسیون و تبخیر حلال تحت شرایط خلاء حاصل گردید.

پوشش‌دهی

برای تهیه پوشش، ۵۰ میلی‌لیتر آلژینات سدیم ۲ درصد (وزنی/ حجمی)، ۱ میلی‌لیتر گلیسیرین و ۰ یا ۱۰ گرم عصاره برگ تربچه مخلوط و به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. پوشش‌دار کردن لیمو شیرین‌ها هم با استفاده از روش غوطه‌وری (به مدت ۲ دقیقه) انجام پذیرفت. چهار گروه لیموشیرین به مدت ۵۰ روز در دمای ۴ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۸۵ درصد نگهداری گردید؛ گروه اول بدون پوشش (تیمار ۱)، گروه دوم با پوشش حاوی ۱ درصد (وزنی/ حجمی) آلژینات سدیم و گلیسرین بدون عصاره برگ تربچه (تیمار ۲)، گروه سوم با پوشش حاوی ۱ درصد (وزنی/ حجمی) آلژینات سدیم و گلیسرین حاوی ۱۰ درصد عصاره برگ تربچه (تیمار ۳) و گروه چهارم که کاملاً مشابه گروه سوم بود با این تفاوت که پس از پوشش‌دار کردن توسط پلاستیک‌های پلی‌اتیلنی با دانسیته پایین تحت شرایط خلاء، بسته‌بندی گردید (تیمار ۴). نمونه‌برداری و انجام آزمایشات کیفی در فواصل زمانی ۱۰ روزه انجام پذیرفت.

آزمون‌های فیزیکی و شیمیایی

افت وزن لیموشیرین از نسبت اختلاف وزن نمونه‌ها در زمان‌های مختلف با زمان صفر به وزن اولیه برای حداقل ۱۰ نمونه در هر تیمار محاسبه گردید (Kingwascharapong *et al.*, 2020). تغییرات سفتی (F) لیموشیرین با کمک آزمون نفوذ و با استفاده از دستگاه بافت‌سنج (STM-5، سنتام، ایران) انجام پذیرفت؛ بدین منظور از پروب استوانه‌ای به قطر ۳ میلی‌متر و سرعت نفوذ ۱۰ میلی‌متر بر ثانیه استفاده گردید و پروب تا عمق ۲۰ میلی‌متری نمونه وارد گردید.

برای انجام آزمون‌های شیمیایی ابتدا آب لیموشیرین گرفته شد و در ادامه مواد جامد محلول کل (TSS) (بر حسب درجه بریکس) با استفاده از رفراکتومتر دستی (آکروس، HR18-01، آلمان) اندازه‌گیری شد. تعیین اسیدیته قابل تیتر (TA) (درصد اسید) بر طبق روش AOAC انجام شد. شاخص رسیدگی (RPI) نیز با کمک رابطه ۱ محاسبه گردید (Vélez-Rivera *et al.*, 2014):

$$RPI = \ln(100 \times |F| \times \frac{TA}{TSS}) \qquad (۱)$$

تصویربرداری و پیش پردازش

به‌منظور تصویربرداری سطحی از پوست لیموشیرین از محفظه پردازش تصویر مجهز به دو لامپ مهتابی (SMD با توان ۱۵ وات) و یک پنل نوری (SMD با توان ۲۰ وات) استفاده گردید. تصویربرداری با کمک دوربین (کانن، ۷۰D، ژاپن) در فاصله ۵۵ سانتی‌متری از نمونه و در حالت خام[1] (با سرعت شاتر[2] ۱/۶ ثانیه و دیافراگم[3] f(۱/۵) انجام پذیرفت. تصویربرداری با استفاده از پس‌زمینه سفید و در جهات مختلف لیمو شیرین صورت گرفت و تصاویر RGB با وضوح ۱۶۰۰×۱۲۰۰ پیکسل (۴۰۰dpi) به‌دست آمد. تصاویر لیموشیرین به‌دست آمده پس از تقطیع، تبدیل لاپلاس و حذف نویز با کمک فیلتر میانه[4]، با بهره‌گیری از هیستوگرام از پس‌زمینه جدا شد. کانال‌های رنگی R، G و B هر تصویر به‌طور جداگانه استخراج شد و محیط آن از RGB به مختصات CIELab تبدیل گردید. دو ویژگی زاویه رنگ[5] (h^*) و حجم لیمو شیرین به ترتیب بر اساس روابط ۲ و ۳ از تصاویر CIELab و دو دویی[6] استخراج گردید. پیش پردازش تصاویر و استخراج خصیصه اولیه با کمک جعبه ابزار پردازش تصویر نرم‌افزار متلب (R2019a، آمریکا) انجام پذیرفت.

$$h^* = arctan({b^*}/{a^*}) \qquad (۲)$$

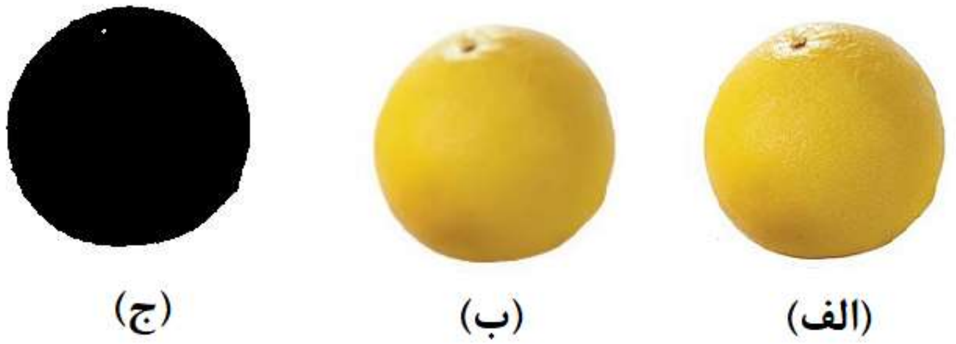
$$Volume\ (V) = \frac{\pi D^3}{6} \qquad (۳)$$

ساختار مدل فازی و انفیس جهت طبقه‌بندی

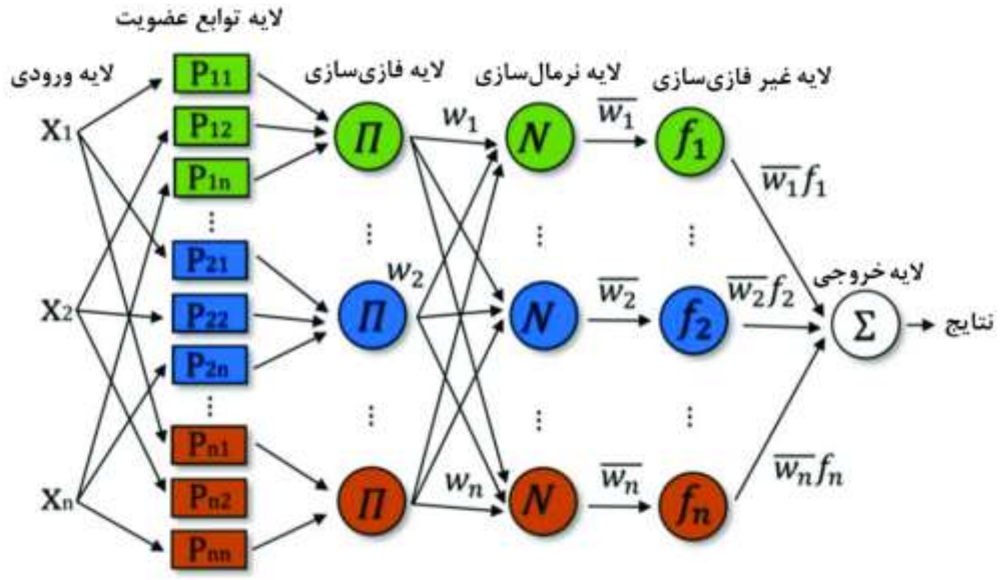
فازی‌سازی اولین قدم در فرآیند ایجاد سیستم استنتاج فازی است (Rad *et al.*, 2018) و در طی آن، متغیرهایی که برای توصیف فرآیند تصمیم‌گیری برای ارزیابی کیفیت میوه لیموشیرین استفاده می‌شوند، توصیف و تحلیل می‌گردند. در این پژوهش قواعد اگر- آنگاه فازی برای ارزیابی و طبقه‌بندی کیفیت میوه لیموشیرین شامل پنج ورودی و یک خروجی استفاده شد. ورودی‌ها شامل سفتی بافت، مواد جامد محلول کل، درصد رنگ سبز، حجم و رنگ پوست (زاویه رنگ) بودند. پنج ویژگی کیفی به‌عنوان مجموعه‌های فازی تعریف شده و توابع عضویت به آنها اختصاص داده شده است (شکل ۲). متغیرهای کیفی و کمی برای لیمو شیرین وجود دارند که طبق مراحل شرح داده شده باید فازی‌سازی، استنباط و غیرفازی شوند. برای فازی کردن این ویژگی‌ها از متغیرهای زبانی کم (L)، متوسط (M) و زیاد (H) استفاده شد. این سیستم از قوانین فازی اگر-آنگاه برای شبیه‌سازی و تجزیه و تحلیل رابطه نگاشت غیرخطی بین داده‌های ورودی و خروجی از طریق فرآیند یادگیری برای تعیین توزیع بهینه تابع عضویت استفاده می‌کند و شامل

1 Raw
2 Shutter speed
3 Aperture
4 Median filter
5 Hue angle
6 Binary image

۵ لایه است: لایه اول- فازی‌سازی ورودی، لایه دوم- ایجاد پایگاه داده مجموعه فازی، لایه سوم- ایجاد پایه قاعده فازی، لایه چهارم- تصمیم‌گیری و لایه پنجم- غیرفازی کردن خروجی (شکل ۲). برای پیاده‌سازی منطق فازی و انفیس در این پژوهش از جعبه ابزارهای منطق فازی و انفیس در نرم‌افزار متلب (R2019a، آمریکا) استفاده گردید.



شکل ۱- (الف) تصویر اصلی لیمو شیرین (ب) تصویر لیمو شیرین پس از اعمال فیلتر (میانه) و (ج) تصویر دو دویی



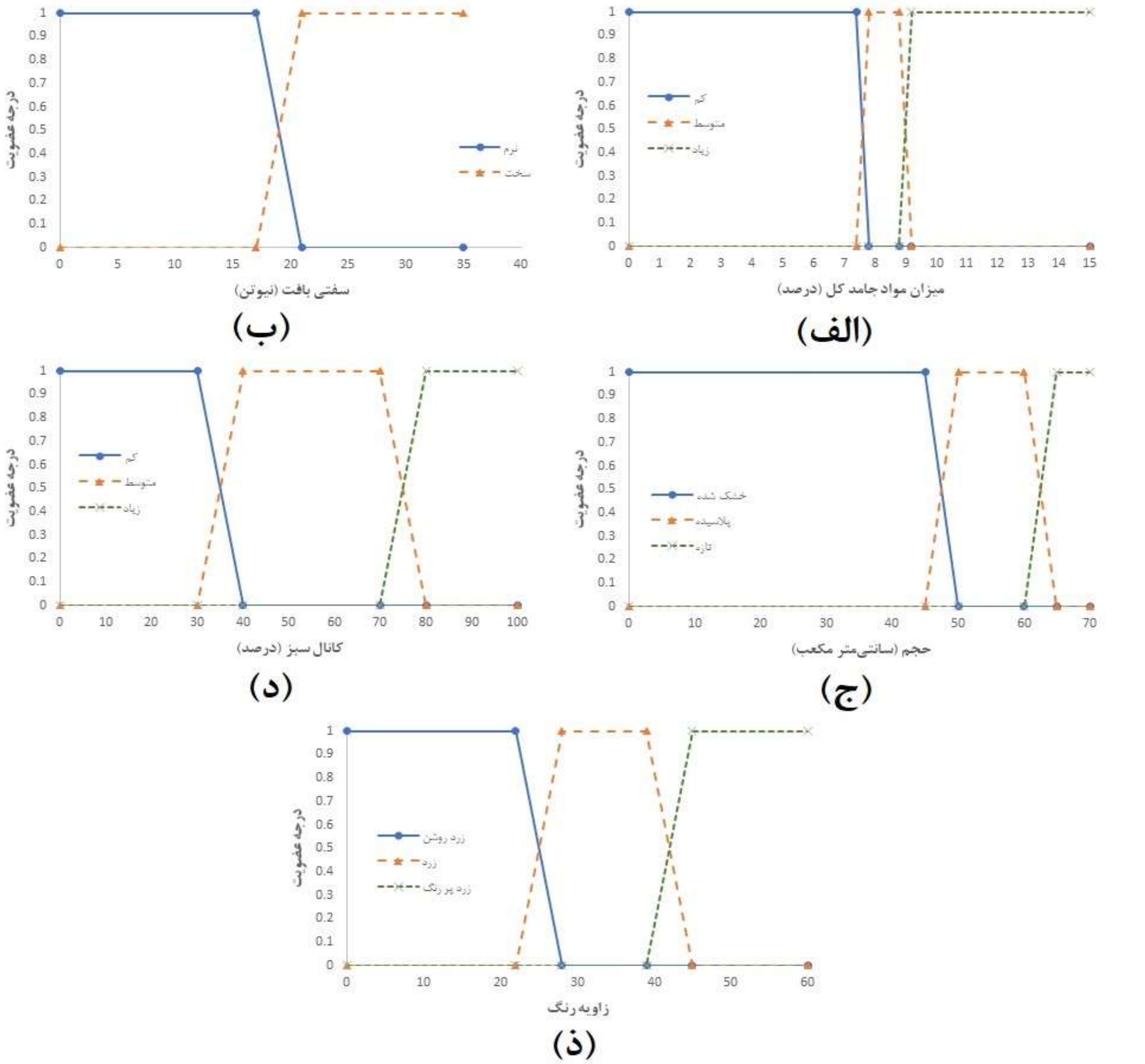
شکل ۲- ساختار انفیس

بر اساس مطالعات تجاری و نیز مطالعات پیشین و آزمون‌های حسی غیررسمی از مصرف کننده (Birle *et al.*, 2013; Rad *et al.*, 2018)، سه سطح کیفی برای مواد جامد محلول و درصد رنگ سبز (پایین، متوسط و زیاد)، سه سطح کیفی برای حجم (تازه، چروکیده و خشک شده)، سه سطح کیفی برای رنگ پوست (زاویه رنگ) (زرد روشن، زرد و بسیار زرد) و دو سطح کیفی برای سفتی بافت (نرم و سفت) استفاده شد. کیفیت کلی میوه لیمو شیرین، متغیر تعریف شده به‌عنوان خروجی است که بر اساس مطالعات تجربی و بر اساس ظاهر چهار طبقه کیفی شامل درجه ۱، درجه ۲، درجه ۳ و درجه ۴ اختصاص داده شد (شکل ۴ و ۵).

برای تعریف مجموعه‌های فازی دو روش مختلف وجود دارد: روش اول تعریف ارزش‌های زبانی بر اساس رفتار متغیر و روش دوم تعریف ارزش‌های زبانی بر اساس دانش متخصصان در دامنه صفر تا ۱. شایان ذکر است که کارکردهای عضویت فازی هر کلاس با کلاس‌های همسایه همپوشانی دارند. در پژوهش حاضر از روش حداکثری- حداقلی ممدانی برای مکانیسم استنتاج و از توابع عضویت مثلثی[1]، گاوسی[2] و ذوزنقه‌ای[3] به سبب ساده و متداول بودن، استفاده گردید. هدف گزینش

1 Triangular
2 Gaussian
3 Trapezoidal

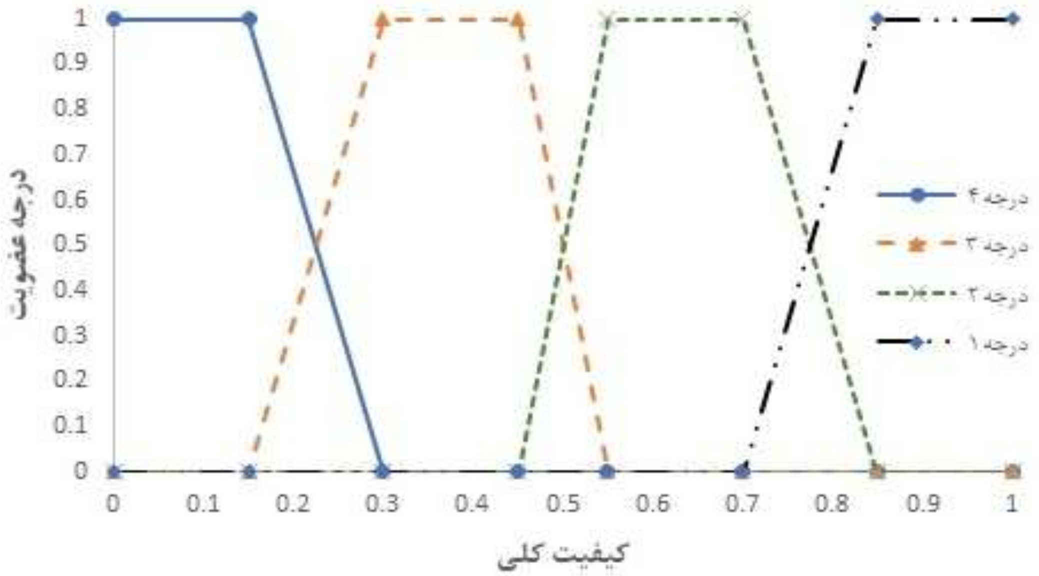
نوع تابع عضویت و درجه عضویت برای ایجاد بهترین پیکربندی بود. در این پژوهش برای توصیف سطح کیفی لیموشیرین یک شاخص پیوسته عددی (بین صفر تا ۱) با استفاده از مجموعه های فازی برای تعریف رابطه بین این فهرست عددی و اصطلاحات زبانی در نظر گرفته شد.



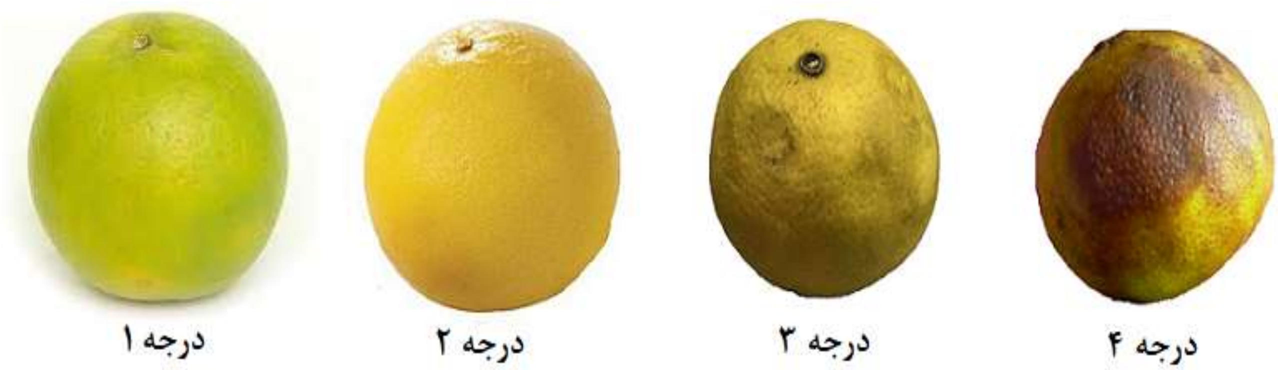
شکل ۳- نمونه توابع عضویت برای (الف) مواد جامد محلول کل، (ب) سفتی بافت، (ج) حجم، (د) رنگ سبز و (ذ) رنگ پوست (زاویه رنگ).

سیستم استنتاج فازی مورد استفاده در پژوهش حاضر دارای ۱۶۲ قانون بر اساس توابع عضویت در نظر گرفته شده برای ورودی‌ها می‌باشد. به‌طور مثال اگر پوست میوه نرم، رنگ پوست زرد، حجم زیاد و کانال سبز کم باشد، آنگاه درجه کیفی از نوع درجه اول است. برای خروجی نیز توابع عضویت تعریف گردید. قواعد اگر- آنگاه فازی نیز تعریف و به‌وسیله غیرفازی سازه‌های خروجی به عدد تبدیل شد. در طبقه‌بندی دیگری به‌منظور حذف آزمون‌های فیزیکی و شیمیایی و تنها استفاده از تصاویر سه ورودی شامل درصد رنگ سبز، حجم (حاصل از تصویر) و رنگ پوست (زاویه رنگ) در نظر گرفته شد؛ در این حالت نیز الگوریتم مشابه الگوریتم قبل بود و سیستم استنتاج فازی مورد استفاده در این حالت دارای ۲۷ قانون بر اساس توابع عضویت در نظر گرفته شده برای ورودی‌ها می‌باشد. از الگوریتم یادگیری پیوندی که ترکیبی از الگوریتم پس انتشار خطا و روش حداقل مربعات می‌باشد، برای آموزش و تطبیق با سیستم استنتاج فازی استفاده شد. در این پژوهش

۷۵ درصد از داده‌ها برای آموزش و ۲۵ درصد از داده‌ها برای اعتبارسنجی در نظر گرفته شد. برای مقایسه جداسازی و طبقه‌بندی کیفی لیموشیرین‌ها با استفاده از شاخص رسیدگی و کارشناس با منطق فازی (دو الگوریتم مختلف) از آزمون کیفی مربع کای اسکوئر[1] استفاده شد. ماتریس درهم‌ریختگی برای بررسی صحت طبقه‌بندی استفاده گردید. جدول یا ماتریس درهم‌ریختگی، نتایج حاصل از طبقه‌بندی را بر اساس اطلاعات واقعی موجود، نمایش می‌دهد. در این ماتریس اعداد موجود در قطر مورب برای نمونه‌هایی است که به درستی طبقه بندی شده اند و اعداد خارج از قطر اصلی نیز نشان‌دهنده نمونه‌هایی است که به اشتباه طبقه‌بندی شده‌اند. در این جدول اعداد موجود در هر ستون نشان‌دهنده اعداد پیش‌بینی و اعداد موجود در هر ردیف نشان دهنده اعداد واقعی است.



شکل ٤- نمونه توابع عضویت (خروجی) کیفیت کلی لیمو شیرین.



شکل ۵- درجات مختلف لیمو شیرین.

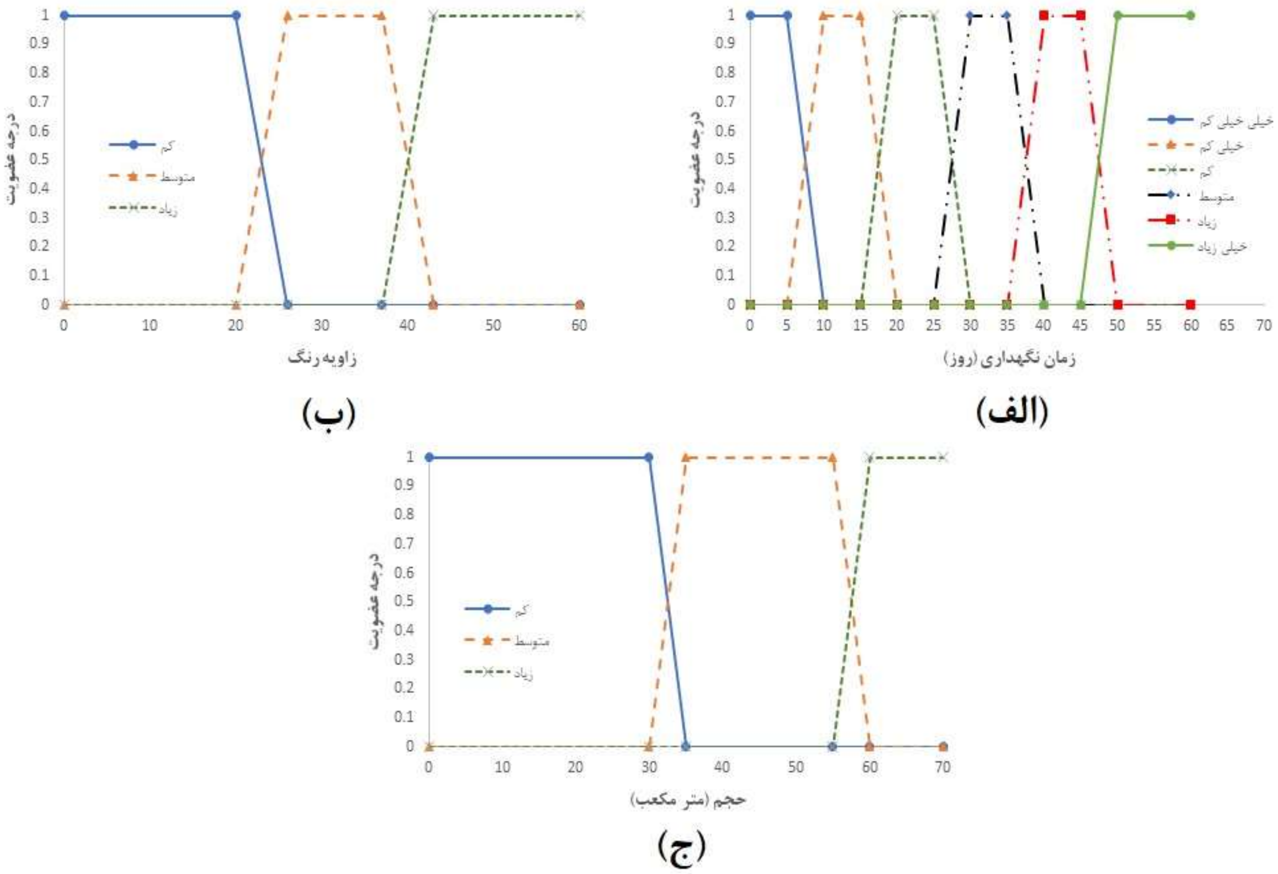
مدل‌سازی انفیس و منطق فازی جهت پیش‌بینی خصوصیات کیفی

در این پژوهش مدل‌سازی استنتاج تطبیقی عصبی- فازی تحت قوانین فازی اگر- آنگاه برای متغیرهای ورودی و خروجی صورت پذیرفت به این منظور از سیستم ممدانی استفاده گردید و تابع عضویت مطلوب از میان توابع مختلف مثلثی، ذوزنقه‌ای، زنگوله‌ای وگاوسی و درجه عضویت مناسب آنها برای هر ترکیب ورودی از آزمون و خطا به‌دست آمد. تعداد بهینه توابع عضویت معمولاً به‌صورت آزمون و خطا تعیین می‌شود و به صورت تجربی تأیید می‌گردد. از سه ورودی (یعنی زمان نگهداری، زاویه رنگ و حجم (حاصل از تصویر)) برای

1 Chi square test

پیش‌بینی خصوصیات کیفی (سفتی و شاخص رسیدگی) استفاده شد. قوانین فازی به‌منظور برقراری ارتباط بین متغیرهای ورودی و خروجی تعریف شدند. برای فازی کردن خصوصیات ورودی از متغیرهای لفظی کم، متوسط و زیاد برای متغیرهای ورودی زاویه رنگ و حجم و از متغیرهای لفظی خیلی خیلی کم، خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد برای متغیر ورودی زمان نگهداری استفاده گردید (شکل ۶). همچنین از الگوریتم یادگیری پیوندی که ترکیبی از الگوریتم پس انتشار خطا و روش حداقل مربعات می‌باشد، برای آموزش و تطبیق با سیستم استنتاج فازی استفاده شده است.

به‌منظور مشخص کردن اهمیت نسبی هر یک از متغیرهای ورودیِ مدل استنتاج فازی تجزیه‌وتحلیل میزان حساسیت انجام گردید. برای تعیین میزان حساسیت مدل به هر یک از خصوصیات ورودی شامل زمان نگهداری، زاویه رنگ و حجم (حاصل از تصویر) از روش حذف آنها استفاده گردید (Kaveh *et al.*, 2018).



شکل ٦- توابع عضویت برای (الف) زمان نگهداری، (ب) رنگ پوست (زاویه رنگ) و (ج) حجم.

تجزیه و تحلیل و ارزیابی مدل پیش‌بینی

مقایسه میانگین با کمک آنالیز واریانس و آزمون تعقیبی دانکن و با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۶، آمریکا) انجام پذیرفت. ارزیابی و مقایسه مدل با کمک ضریب تبیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و درصد خطای مطلق (MAPE) انجام شد (Abbaspour-Gilandeh *et al.*, 2020; Rad *et al.*, 2018; Sabbaghi *et al.*, 2019):

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(O-P)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O-\bar{P})^2}\right) \qquad (۴)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{(O-P)^2}{n-p}} \qquad (۵)$$

$$\text{MAPE} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{P-O}{O}\right|}{n} \times 100 \qquad (۶)$$

که O، P، p و n به‌ترتیب داده تجربی، داده پیش‌بینی شده، تعداد مشاهده و تعداد خصوصیات مدل است. رسم نمودارها و محاسبه نوار خطا به‌ترتیب با کمک نرم‌افزارهای اکسل (نسخه ۲۰۱۶) و متلب (Matlab R2019a) صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

طبقه‌بندی کیفی لیموشیرین

دو نوع الگوریتم طبقه‌بندی یکی بر مبنای خصوصیات کیفی و دارای ۵ ورودی (شامل سفتی پوست، مواد جامد محلول کل، درصد

رنگ سبز، حجم و رنگ پوست (زاویه رنگ)) و دیگری بر مبنای خصیصه‌های استخراجی از تصاویر و دارای ۳ ورودی (شامل درصد رنگ سبز، حجم (حاصل از تصویر) و رنگ پوست (زاویه رنگ)) مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۲) و دقت طبقه‌بندی هر کدام با طبقه‌بندی با کمک شاخص رسیدگی و جداسازی نمونه‌ها توسط کارشناس بررسی گردید (جدول ۱).

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌گرد، طبقه‌بندی انجام شده توسط الگوریتم بر مبنای خصوصیات کیفی نسبت به الگوریتم بر مبنای خصیصه‌های حاصل از تصویر از دقت بالاتری برخوردار است که شاید دلیل آن تاثیر سفتی پوست و میزان مواد جامد محلول کل بر کیفیت نهایی لیمو شیرین باشد، به‌طوری‌که با افزایش زمان نگهداری میزان سفتی پوست به دلیل افزایش از دست دادن رطوبت، افزایش می‌یابد از طرف دیگر به سبب از دست دادن وزن و تغییرات هیدرولیتیکی پلی‌ساکاریدها میزان مواد جامد محلول کل طی زمان نگهداری افزایش می‌یابد (Askari *et al.*, 2019). با آن‌که دقت الگوریتم بر مبنای خصوصیات کیفی نسبت به الگوریتم بر مبنای خصیصه‌های حاصل از تصویر بالاتر است ولی با این‌حال این الگوریتم هم توانسته با دقت و صحت بالایی نمونه‌های لیمو شیرین را به درجه‌های کیفی مختلف جداسازی نماید. شاید علت این امر نقش مهم رنگ و خصوصیات ظاهری بر درجه‌بندی کیفی میوه و سبزی‌ها و نقش کم رنگ‌تر خصوصیاتی نظیر سفتی بافت و میزان مواد جامد محلول کل بر بازارپسندی نهایی محصول است. نتایج طبقه‌بندی نشان داد که دقت هر دو الگوریتم طبقه‌بندی برای تیمارهای مختلف تفاوت معناداری ($p<0/05$) نداشت و تیمارهای مختلف تاثیری بر دقت جداسازی نگذاشت.

جدول ۱- دقت دسته‌بندی الگوریتم‌های مختلف با انواع توابع عضویت در تیمارهای مختلف برای مجموعه‌ی آموزشی و آزمایشی.

مدل	تابع عضویت	حساسیت[1]	تیمار ۱		تیمار ۲		تیمار ۳		تیمار ٤	
			آموزش	آزمون	آموزش	آزمون	آموزش	آزمون	آموزش	آزمون
بر مبنای خصوصیات کیفی	گاوسی	۰/۹۴۳	۰/۹۵۷	۰/۹۸۲	۰/۹۶۴	۰/۹۹۰	۰/۹۶۶	۰/۹۸۵	۰/۹۶۳	۰/۹۸۲
	مثلثی	۰/۹۰۱	۰/۹۲۱	۰/۹۵۴	۰/۹۱۵	۰/۹۳۲	۰/۹۱۴	۰/۹۲۸	۰/۹۲۰	۰/۹۴۱
	ذوزنقه‌ای	۰/۹۲۱	۰/۹۴۹	۰/۹۷۲	۰/۹۵۱	۰/۹۶۵	۰/۹۴۵	۰/۹۷۳	۰/۹۵۱	۰/۹۶۷
بر مبنای خصیصه‌های استخراجی از تصاویر	گاوسی	۰/۹۳۲	۰/۹۲۹	۰/۹۵۴	۰/۹۳۲	۰/۹۶۹	۰/۹۳۶	۰/۹۷۳	۰/۹۴۲	۰/۹۶۹
	مثلثی	۰/۹۱۲	۰/۹۱۱	۰/۹۳۳	۰/۹۰۵	۰/۹۲۱	۰/۹۰۱	۰/۹۱۸	۹۰۳	۰/۹۲۲
	ذوزنقه‌ای	۰/۹۲۰	۰/۹۱۹	۰/۹۵۱	۰/۹۲۱	۰/۹۴۲	۰/۹۳۱	۰/۹۵۸	۰/۹۱۶	۰/۹۵۲

نتایج و تجزیه و تحلیل ارزیابی کارشناسان و سیستم استنتاج فازی توسعه یافته نشان داد که میانگین دقت تیمارهای مختلف به معنی میانگین خطای مقادیر اولیه (تفاوت در مقادیر پیش‌بینی شده و اولیه کیفیت میوه) تولید شده توسط سیستم استنتاج فازی برای توابع عضویت گاوسی، مثلثی و ذوزنقه‌ای به‌ترتیب ۰/۹۷۵، ۰/۹۳۱ و ۰/۹۶۰ می‌باشد. نتایج مطالعه‌ی حاضر نشان می‌دهد که مدل طبقه‌بندی فازی طراحی شده از عملکرد قابل قبولی در طبقه‌بندی کیفی لیموشیرین برخوردار است. ضمن آن‌که به دلیل استفاده از متغیرهای زبان شناختی در سیستم فازی، در صنعت به سادگی می‌توان از آن استفاده نمود. نکته مهم دیگر در نتایج فوق این بود که مدل بر مبنای خصیصه‌های استخراجی از تصویر نیز عملکرد بسیار خوبی داشت به‌طوری‌که میانگین دقت تیمارهای مختلف تولید شده توسط سیستم استنتاج فازی برای توابع عضویت گوسی، مثلثی و ذوزنقه‌ای به‌ترتیب ۰/۹۶۶، ۰/۹۲۳ و ۰/۹۵۱ بود. به‌منظور دستیابی به بهترین پیکربندی انفیس تعدادی آزمون انجام و شبکه‌ای با کمترین میزان خطای آزمون میانگین انتخاب گردید. بهترین پیکربندی برای توابع عضویت گاوسی بود.

با کمک ماتریس درهم‌ریختگی (جدول ۲) می‌توان درصد صحت طبقه‌بندی برای هر طبقه برای الگوریتمی با بهترین پیکربندی (گاوسی) مشخص گردد. در این ماتریس اعداد موجود در قطر مورب برای نمونه‌هایی است که به درستی طبقه بندی شده‌اند و اعداد خارج از قطر اصلی نیز نشان‌دهنده نمونه‌هایی است که به اشتباه طبقه‌بندی شده‌اند. در این جدول اعداد موجود در هر ستون نشان‌دهنده اعداد پیش‌بینی و اعداد موجود در هر ردیف نشان دهندهٔ اعداد واقعی است. نتایج ارائه شده در ماتریس درهم ریختگی نشان دهنده توانایی مدل بر مبنای خصیصه‌های استخراج شده از تصاویر در طبقه‌بندی نتایج با صحت بالا همانند الگوریتم بر مبنای خصوصیات کیفی است. تاکنون پژوهشی به‌منظور طبقه‌بندی کیفی لیموشیرین طی نگهداری انجام نشده است اما پژوهش‌هایی برای طبقه‌بندی کیفی گوجه‌فرنگی (GoelSehgal,

1 Pearson correlation coefficient

2015) و سیب (Papageorgiou *et al*., 2018) با کمک سیستم استنتاج فازی و انفیس و با تکیه بر خصوصیات استخراج شده از تصویر انجام پذیرفته است که نتایج آن همانند این پژوهش نشان داد که عملکرد این سیستم‌های هوشمند مطلوب است و این سیستم‌ها توانست با دقت و صحت بالایی طبقه‌بندی را انجام دهد.

جدول ۲- ماتریکس درهم ریختگی برای طبقه‌بندی و اعتبارسنجی نتایج.

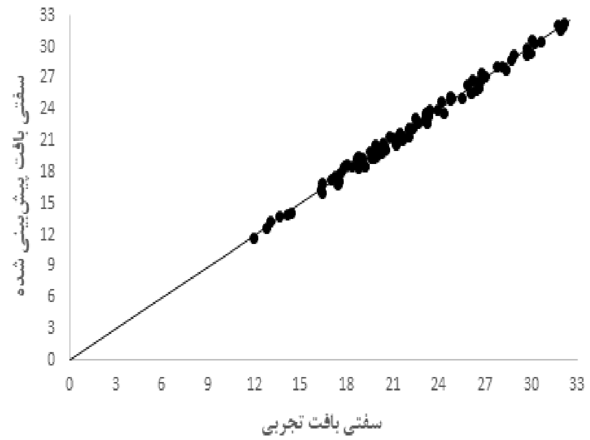
مدل	درجه	۱	۲	۳	٤
خصوصیات کیفی	۱	۱۴۲	۱	۰	۰
	۲	۴	۱۴۸	۳	۰
	۳	۰	۳	۱۴۷	۴
	۴	۰	۰	۱	۱۳۵
صحت		۰/۹۷۳	۰/۹۷۴	۰/۹۷۴	۰/۹۷۱
خصیصه‌های استخراجی از تصاویر	۱	۱۴۰	۳	۰	۰
	۲	۶	۱۴۵	۳	۰
	۳	۰	۴	۱۴۳	۴
	۴	۰	۰	۵	۱۳۵
صحت		۰/۹۵۹	۰/۹۵۴	۰/۹۴۷	۰/۹۷۱

پیش‌بینی خصوصیات کیفی

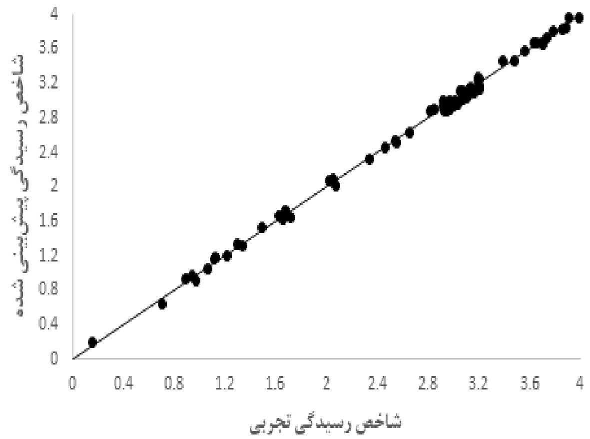
پیش‌بینی خصوصیات کیفی با بهره‌گیری از سیستم استنتاج ممدانی در جعبه ابزار نرم‌افزار متلب تحت قواعد اگر- سپس با سه ورودی و با استفاده از توابع عضویت مختلف مثلثی، ذوزنقه‌ای، زنگوله‌ای و گوسی و درجه عضویت مختلف انجام شد. به‌طور کلی، ۵۴ قانون اگر- سپس برای پیش‌بینی دو خصوصیت کیفی سفتی بافت و شاخص رسیدگی استفاده گردید.

جدول ۳- برخی از بهترین پیکربندی سیستم استنتاج تطبیقی فازی- عصبی برای پیش‌بینی خصوصیات کیفی لیموشیرین.

ویژگی	تابع عضویت	تعداد توابع عضویت	آموزش			آزمون		
			R^2	RMSE	MAPE	R^2	RMSE	MAPE
شاخص رسیدگی	گاوسی	۳	۰/۹۷۶۳	۰/۰۱۲۳	۱۰/۱۲	۰/۹۹۸۵	۰/۰۰۸۹	۴/۰۵
		۲	۰/۹۶۷۱	۰/۰۱۶۷	۱۰/۸۹	۰/۹۹۷۶	۰/۰۰۹۴	۴/۶۸
	زنگوله‌ای	۲	۰/۹۷۹۹	۰/۰۱۰۹	۹/۹۶	۰/۹۹۹۱	۰/۰۰۷۶	۳/۹۷
		۴	۰/۹۷۰۵	۰/۰۱۴۱	۱۰/۴۳	۰/۹۹۸۰	۰/۰۰۹۴	۴/۱۱
	مثلثی	۲	۰/۹۸۰۱	۰/۰۰۹۱	۹/۸۷	۰/۹۹۹۳	۰/۰۰۴۳	۳/۹۰
		۳	۰/۹۷۶۵	۰/۰۱۲۹	۱۰/۱۹	۰/۹۹۹۰	۰/۰۰۸۲	۴/۰۱
	ذوزنقه‌ای	۲	۰/۹۶۴۵	۰/۰۱۴۲	۱۰/۹۷	۰/۹۹۴۵	۰/۰۰۹۱	۴/۹۹
		۴	۰/۹۶۰۱	۰/۰۱۹۲	۱۱/۱۱	۰/۹۹۲۳	۰/۰۰۹۷	۵/۴۳
سفتی بافت	گاوسی	۲	۰/۹۸۱۱	۰/۰۰۹۰	۹/۴۵	۰/۹۹۹۶	۰/۰۰۶۲	۳/۸۷
		۳	۰/۹۷۴۵	۰/۰۰۹۶	۱۰/۰۵	۰/۹۹۹۰	۰/۰۰۷۳	۴/۱۰
	زنگوله‌ای	۳	۰/۹۷۱۴	۰/۰۱۱۱	۱۰/۳۶	۰/۹۹۸۸	۰/۰۰۹۱	۴/۳۳
		۴	۰/۹۶۹۳	۰/۰۱۵۴	۱۰/۶۷	۰/۹۹۸۱	۰/۰۰۹۷	۴/۵۴
	مثلثی	۲	۰/۹۶۸۳	۰/۰۱۵۹	۱۰/۷۹	۰/۹۹۸۰	۰/۰۰۹۵	۴/۶۰
		۴	۰/۹۶۲۰	۰/۰۱۷۴	۱۱/۰۵	۰/۹۹۷۴	۰/۰۱۰۱	۴/۸۶
	ذوزنقه‌ای	۲	۰/۹۷۱۱	۰/۰۱۳۳	۱۰/۴۹	۰/۹۹۹۲	۰/۰۰۶۹	۳/۹۵
		۴	۰/۹۶۶۴	۰/۰۱۲۸	۱۰/۲۴	۰/۹۹۸۷	۰/۰۰۷۴	۴/۴۲



(الف)



(ب)

شکل ۷- داده‌های (الف) سفتی بافت، (ب) شاخص رسیدگی پیش‌بینی شده توسط مدل فازی نسبت به داده‌های تجربی.

نتایج حاصل از پیش‌بینی با توابع عضویت مختلف و بهترین درجه عضویت در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که بهترین پیش‌بینی برای شاخص رسیدگی و سفتی بافت به‌ترتیب با مدل منطق فازی با توابع عضویت مثلثی (تعداد توابع عضویت ۲) و گوسی (تعداد توابع عضویت ۲) انجام پذیرفت. ضریب تبیین پیش‌بینیِ شاخص رسیدگی و سفتی بافت برای بهترین پیکربندی به‌ترتیب برابر ۰/۹۹۹۶ و ۰/۹۹۹۲ بود. مقایسه ضریب همبستگی بین مقادیر پاسخ تجربی و پاسخ پیش‌بینی‌شده توسط مدل فازی برای خروجی‌های سفتی بافت و شاخص رسیدگی در شکل ۷ ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌گردد، همبستگی بالای این داده‌ها نشان‌دهنده دقت بالای مدل فازی انتخاب شده می‌باشد. تاکنون پژوهشی به‌منظور استفاده از سیستم‌های استنتاج فازی برای پیش‌بینی خصوصیات کیفی طی نگهداری میوه و سبزی‌ها انجام نشده است ولی گزارشات زیادی در زمینه استفاده از سیستم فازی ممدانی برای پیش‌بینی خشک کردن محصولات مختلف غذایی توسط محققان مختلف منتشر شده است (Abbaspour-Gilandeh *et al.*, 2020; Banakar *et al.*, 2017; Jafari *et al.*, 2016; Nadian *et al.*, 2017; Rad *et al.*, 2018). نتایج حاصل از تجزیه‌وتحلیل میزان حساسیت نشان داد که (جدول ۴) زمان نگهداری بیشترین تاثیر را هم بر شاخص رسیدگی و هم بر بافت سطحی لیمو شیرین دارد. به عبارت دیگر با تغییر زمان نگهداری شاخص رسیدگی و بافت بیشترین تغییر را می‌کند. شاید علت این امر این باشد که زمان نگهداری خود به‌عنوان ویژگی مستقل است که بر روی سایر ورودی‌ها شامل زاویه رنگ و حجم نیز تاثیر می‌گذارد. کاوه و همکاران نیز در مدل‌سازی خشک کردن سیر و موسیر نیز به این نتیجه رسیدن که زمان خشک کردن بیشترین تاثیر را بر خروجی دارد (Kaveh *et al.*, 2018)، که این به سبب مستقل بودن عامل زمان و تاثیر بر سایر عوامل می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش کاربرد سیستم استنتاج فازی برای طبقه‌بندی و پیش‌بینی خصوصیات کیفی لیموشیرین طی نگهداری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج طبقه‌بندی کیفی لیمو شیرین به ۴ درجه نشان داد که هر دو سیستم استنتاج فازی با الگوریتم‌های بر پایه خصوصیات کیفی و خصیصه‌های حاصل از تصویر قادرند تا طبقه‌بندی را با دقت و صحت بالایی انجام دهند. نکته مهم دیگر عملکرد بسیار خوب مدل بر مبنای خصیصه‌های استخراجی از تصویر می‌باشد، به‌طوری‌که دقت تیمارهای مختلف تولید شده توسط سیستم استنتاج فازی برای تابع عضویت گاوسی بالاتر از بقیه توابع عضویت بود. پیش‌بینی خصوصیات کیفی سفتی بافت و شاخص رسیدگی با موفقیت توسط سیستم استنتاج فازی انجام پذیرفت. همبستگی بالای بین مقادیر پاسخ تجربی و پاسخ پیش‌بینی شده توسط مدل فازی نشان‌دهنده دقت بالای این مدل بود. نتایج تجزیه‌وتحلیل میزان حساسیت نشان داد که زمان نگهداری بیشترین تاثیر در پیش‌بینی دارد. نتایج مطالعه‌ی حاضر نشان می‌دهد که مدل طبقه‌بندی فازی طراحی شده از عملکرد قابل قبولی در طبقه‌بندی کیفی و پیش‌بینی کیفی لیموشیرین برخوردار است. ضمن آن‌که به دلیل استفاده از متغیرهای زبان شناختی در سیستم فازی، در صنعت به سادگی می‌توان از آن استفاده نمود.

جدول ٤- تجزیه‌وتحلیل میزان حساسیت خصوصیات مستقل غیرمستقیم برای پیش‌بینی خصوصیات کیفی لیمو شیرین.

ویژگی	ورودی	R^2	RMSE	MAPE
شاخص رسیدگی	همه خصوصیات	۰/۹۹۹۶	۰/۰۰۶۲	۴/۲۳
	بدون زمان نگهداری	۰/۹۹۶۵	۰/۰۰۹۴	۸/۱۱
	بدون زاویه رنگ	۰/۹۹۸۹	۰/۰۰۷۱	۷/۵۹
	بدون حجم	۰/۹۹۹۰	۰/۰۰۶۸	۷/۲۳
سفتی بافت	همه خصوصیات	۰/۹۹۹۲	۰/۰۰۶۹	۴/۸۷
	بدون زمان نگهداری	۰/۹۹۵۹	۰/۰۱۱۶	۸/۹۶
	بدون زاویه رنگ	۰/۹۹۸۳	۰/۰۰۸۴	۷/۸۹
	بدون حجم	۰/۹۹۸۱	۰/۰۰۹۳	۸/۰۳

تشکر و قدردانی

مطالعه حاضر حاصل بخشی از طرح پژوهشی مصوب گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی دانشگاه زنجان (مورخ ۱۳۹۸/۰۲/۳۰) و سمینار دوره کارشناسی خانم‌ها نرگس نیکومنش و نگار مرادی با عنوان "بررسی اثر پوشش آلژینات سدیم به‌همراه عصاره برگ تربچه جهت نگهداری لیموشیرین در شرایط مختلف (با و بدون بسته بندی تحت خلا): بررسی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بصری (تصویری)" می‌باشد.

منابع

Abbaspour-Gilandeh, Y. and A. Jahanbakhshi and M. Kaveh. 2020. Prediction kinetic, energy and exergy of quince under hot air dryer using ANNs and ANFIS. *Food Science & Nutrition* 8: 594-611.

Al-Mahasneh, M., M. Aljarrah, T. Rababah and M. Alu'datt. 2016. Application of hybrid neural fuzzy system (ANFIS) in food processing and technology. *Food Engineering Review*s 8: 351-366.

Askari, G. and A. Karaminia and M. Mousavi. 2019. Development of novel active coating from Sagez and Sagez-Zein to increase the shelf life of sweet lemon (*Citrus limetta*). *Journal of Food and Bioprocess Engineering* 3: 47-54.

Bahram-Parvar, M. and F. Salehi and S. M. Razavi. 2017. Adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) simulation for predicting overall acceptability of ice cream. *Engineering in Agriculture*, *Environment and Food* 10: 79-86.

Banakar, A., H. Zareiforoush, M. Baigvand, M. Montazeri, J. Khodaei and N. Behroozi-Khazaei. 2017. Combined application of decision tree and fuzzy logic techniques for intelligent grading of dried figs. *Journal of food process Engineering* 40: e12456.

Barreca, D., E. Bellocco, C. Caristi, U. Leuzzi and G. Gattuso. 2011. Flavonoid profile and radical-scavenging activity of Mediterranean sweet lemon (*Citrus limetta Risso*) juice. *Food Chemistry* 129: 417-422.

Birle, S. and M. Hussein and T. Becker. 2013. Fuzzy logic control and soft sensing applications in food and beverage processes. *Food Control* 29: 254-269.

Chen, H. and Z. Sun and H. Yang. 2019. Effect of carnauba wax-based coating containing glycerol monolaurate on the quality maintenance and shelf-life of Indian jujube (*Zizyphus mauritiana Lamk*.) fruit during storage. *Scientia horticulturae* 244: 157-164.

Chung, D.-H., S.-H. Kim, N. Myung, K. J. Cho and M.-J. Chang. 2012. The antihypertensive effect of ethyl acetate extract of radish leaves in spontaneously hypertensive rats. *Nutrition Research and Practice* 6: 308-314.

Fashi, M. and L. Naderloo and H. Javadikia. 2019. The relationship between the appearance of pomegranate fruit and color and size of arils based on image processing. *Postharvest Biology and Technology* 154: 52-57.

Gavahian, M., A. Farahnaky, K. Javidnia and M. Majzoobi. 2013. A novel technology for extraction of essential oil from Myrtus communis: ohmic-assisted hydrodistillation. *Journal of Essential Oil Researc*h 25: 257-266.

Gharibi, H., A. H. Mahvi, R. Nabizadeh, H. Arabalibeik, M. Yunesian and M. H. Sowlat. 2012. A novel approach in water quality assessment based on fuzzy logic. *Journal of Environmental Managemen*t 112: 87-95.

Goel, N. and P. Sehgal. 2015. Fuzzy classification of pre-harvest tomatoes for ripeness estimation–An approach based on automatic rule learning using decision tree. *Applied Soft Computing* 36: 45-56.

International, A. 2006. Official methods of analysis: AOAC Int Arlington, VA.

Iraji, M. S. and A. Tosinia. 2011. Classification tomatoes on machine vision with fuzzy the mamdani inference, adaptive neuro fuzzy inference system based (*anfis-sugeno*). *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 5: 846-853.

Jafari, S. M., M. Ganje, D. Dehnad and V. Ghanbari. 2016. Mathematical, fuzzy logic and artificial neural network modeling techniques to predict drying kinetics of onion. *Journal of Food Processing and Preservation* 40: 329-339.

Kaveh, M., Y. Abbaspour-Gilandeh, R. Amiri Chayjan and R. Mohammadigol. 2018. Comparison of mathematical modeling, artificial neural networks and fuzzy logic in predicting the moisture ratio of garlic and shallot in a fluidized bed dryer (In Persian). *Journal of Agricultural Machinery*.

Kingwascharapong, P., K. Arisa, S. Karnjanapratum, F. Tanaka and F. Tanaka. 2020. Effect of gelatin-based coating containing frog skin oil on the quality of persimmon and its characteristics. *Scientia Horticulturae* 260: 108864.

Klangmuang, P. and R. Sothornvit. 2018. Active coating from hydroxypropyl methylcellulose-based nanocomposite incorporated with Thai essential oils on mango (*cv. Namdokmai Sithong*). *Food Bioscience* 23: 9-15.

Ligus, M. and P. Peternek. 2018. Determination of most suitable low-emission energy technologies development in Poland using integrated fuzzy AHP-TOPSIS method. *Energy Procedia* 153: 101-106.

Maftoonazad, N. and H. S. Ramaswamy. 2019. Application and Evaluation of a Pectin-Based Edible Coating Process for Quality Change Kinetics and Shelf-Life Extension of Lime Fruit (*Citrus aurantifolium*). *Coatings* 9: 285–294.

Morsy, N. E. and A. M. Rayan. 2019. Effect of different edible coatings on biochemical quality and shelf life of apricots (Prunus armenica L. cv Canino). *Journal of Food Measurement and Characterization* 13: 3173-3182.

Nadian, M. H., M. H. Abbaspour-Fard, A. Martynenko and M. R. Golzarian. 2017. An intelligent integrated control of hybrid hot air-infrared dryer based on fuzzy logic and computer vision system. *Computers and Electronics in Agriculture* 137: 138-149.

Papageorgiou, E. I., K. Aggelopoulou, T. A. Gemtos and G. Nanos. 2018. Development and evaluation of a fuzzy inference system and a neuro-fuzzy inference system for grading apple quality. *Applied Artificial Intelligence* 32: 253-280.

Rad, S. J., M. Kaveh, V. R. Sharabiani and E. Taghinezhad. 2018. Fuzzy logic, artificial neural network and mathematical model for prediction of white mulberry drying kinetics. Heat and Mass Transfer 54: 3361-3374.

Sabbaghi, H. and A. M. Ziaiifar and M. Kashaninejad. 2019. Design of Fuzzy System for Sensory Evaluation of Dried Apple Slices Using Infrared Radiation. *Iranian journal of Biosystem Engineering* 50: 77-89.

Sakthivel, G. and D. Saravanakumar and T. Muthuramalingam. 2018. Application of failure mode and effect analysis in manufacturing industry-an integrated approach with FAHP-fuzzy TOPSIS and FAHP-fuzzy VIKOR. *International Journal of Productivity and Quality Management* 24: 398-423.

Sung, N.-Y., W.-Y. Park, Y.-E. Kim, E.-J. Cho, H. Song, H.-K. Jun, J.-N. Park, M.-H. Kim, G.-H. Ryu and E.-H. Byun. 2016. Increase in anti-oxidant components and reduction of off-flavors on radish leaf extracts by extrusion process. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition* 45: 1769-1775.

Vélez-Rivera, N., J. Blasco, J. Chanona-Pérez, G. Calderón-Domínguez, M. de Jesús Perea-Flores, I. Arzate-Vázquez, S. Cubero and R. Farrera-Rebollo. 2014. Computer vision system applied to classification of “manila” mangoes during ripening process. *Food and Bioprocess Technology* 7: 1183-1194.

Yan, J., Z. Luo, Z. Ban, H. Lu, D. Li, D. Yang, M. S. Aghdam and L. Li. 2019. The effect of the layer-by-layer (LBL) edible coating on strawberry quality and metabolites during storage. *Postharvest Biology and Technology* 147: 29-38.

Zadeh, L. A. 1965. Fuzzy sets. Information and control 8: 338-353.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 2, June. July. 2021, p. 339- 351

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۲، خرداد-تیر ۱۴۰۰ ص.۳۵۱-۳۳۹

Application of fuzzy logic and neural-fuzzy inference system (ANFIS) for prediction of physicochemical changes and quality classification of coated sweet lemon during storage

M. Zandi[1*], A. Ganjloo[2], M. Bimakr[2], N. Nikoomanesh[3], N. Moradi[3]

Received: 2020.06.10
Accepted: 2020.07.13

Introduction: The base of intelligent methods is using hidden knowledge in the experimental data, trying to extract the inherent relationships among them and generalizing results to other situations. Artificial neural networks are one of the most essential methods used in the field of artificial intelligence was inspired by how the human brain works, training takes place first, and then the information related to the data is stored in the form of the network's weights. Fuzzy logic is an important decision-making tool that has recently found some applications in food quality. Also, it is possible to find out the reasons for low and high ranking of products evaluated by the judges. The fuzzy model can be used to determine the importance of individual factors to the overall quality of a product. The ANFIS model is a combination of the artificial neural network (ANN) and a fuzzy inference system (FIS) in such a way that the neural networks are applied to determine the parameter of the fuzzy inference system. The fuzzy logic theory effectively addresses the uncertainty problems that solve the ambiguity. Sweet lemon (*Citrus limetta*) fruit is a popular agricultural product cultivated in tropical countries used to treat common colds, influenza and hypertension. Sweet lemon is quite perishable with postharvest losses such as weight loss, physiological deterioration, decay, and softening texture. The objective of the present study was to investigate grading of sweet lemon fruit based on quality and visual characteristics using fuzzy logic and ANFIS.

Material and Method: Ripe sweet lemon (*Citrus limetta*) fruits and radish (*Raphanus sativus* L.) leaves were purchased from the local market in Zanjan, Iran. For emulsion solution preparation, 50 ml alginate sodium solution, 1 ml glycerin and 0 or 10 g radish leaf extract were mixed, then the coating solution volume was made up to 100 ml using distilled water. Finally, the mixture was steered for 200 second. Sweet lemon fruits were dipped in coating solutions or distillate water (for control treatment) for 2 minutes at ambient temperature (25℃) and were then air-dried for 2 h using a fan. All treatments stored at 4℃ for 50 days. Firmness, pH, titratable acidity (TA), total soluble solids content (TSS), color, and shape were measured at 10-day intervals. This paper introduces an adaptive neural-fuzzy inference system (ANFIS) model to classify sweet lemon based on the quality parameters and RGB intensity values. The ANFIS with different types of input membership functions (MFs) was developed. A study was performed using fuzzy logic and adaptive neural-fuzzy inference system (ANFIS) to predict the quality parameters of sweet lemon (firmness and ripening index).

Results & Discussion: Our results showed that ‘triangle2mf’ MF performs much better than other mentioned MFs for defect inspection. The classification accuracy of the ANFIS with ‘triangle2mf’ MF was 97.5% and 96.6% for quality input and visual input, respectively, and the total correct classification rate was 97.01%. Therefore, this study indicated the possibility of developing a potentially useful classification tool using the ANFIS technique based on quality parameters and RGB values for fruit classification during processing, storage and distribution. Comparing the results obtained from fuzzy logic with various membership function, showed that the RMSE in the fuzzy logic with ‘guss2mf’ MF was lower than other algorithms. The proposed approach focuses on three research motivations. First, to develop a fuzzy rule-based classification system that can detect all the four quality grades of the sweet lemon. Second, the system should be able to predict the quality parameters of sweet lemon. Fuzzy logic deserved high level of accuracy in classification of sweet lemon, indicating high correlation between the data obtained from Mamdani fuzzy rules and experimental ones during storage time.

Keywords: Fuzzy logic, Sweet lemon, Mamdani inference, ANFIS, Classification.

1, 2 and 3. Assistant Professor, Associate Professor and BSc. Student, Department of Food Science and Engineering, Faculty of Agricultural, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
(*Corresponding Author Email: Zandi@znu.ac.ir)